



Projet n°. 015403

FONIO

**Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio
en Afrique de l'Ouest**

Projet de Recherche spécifique ciblé (STREP)
INCO

WORK PACKAGE 1

Diversification of fonio products for niche export markets and local markets

D 8

Etude de l'étuvage du fonio et essais expérimentaux

Fonio parboiling study and experimental tests

Authors: **Jean-François CRUZ, Michel RIVIER, Geneviève FLIEDEL (Cirad)**

Workpackage leader: Mme Geneviève FLIEDEL (Cirad)

Project coordinator : Jean-François CRUZ (Cirad)

CIRAD (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - France)

Janvier 2009

Projet co-financé par la Commission Européenne au cours du 6ème programme cadre (2002-2006)		
Niveau de diffusion		
PU	Public	X
PP	Restreint aux participants d'autres programmes (Services de la Commission inclus)	
RE	Restreint à un groupe spécifié par le consortium (Services de la Commission inclus)	
CO	Confidentiel, restreint aux membres du consortium (Services de la Commission inclus)	

Auteurs: Jean-François CRUZ, Michel RIVIER, Geneviève Fliedel

Cirad (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement)
UMR Qualisud, 73 rue Jean-François Breton - TA B-95 / 16
34398 Montpellier Cedex 5
France

Ce travail a été réalisé en collaboration avec:

Au Mali,

Les personnels du Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER et notamment:

Djibril DRAME

Mme COULIBALY Salimata SIDIBÉ

Mme TANGARA Adiaratou SIDIBÉ

Mme BORE Fanta GUINDO,

Mohamed DIARRA,

Kola TANGARA,

....

En France :

Joël GRABULOS (Cirad)

Nota : Ce travail a été soutenu financièrement par la Commission de la Communauté Européenne. Il ne reflète pas nécessairement les vues et en aucun cas ne préfigure la politique future de la Communauté dans le domaine

SOMMAIRE

	Pages
1 - Introduction	1
2 - Rappel – intérêt de l'étuvage dans le cas du riz	1
3 – Premiers essais d'étuvage réalisés en laboratoire	1
3.1. Optimisation des conditions d'étuvage en laboratoire	1
3.2. Tests d'étuvage en conditions locales contrôlées au Mali	3
4 – Essais d'étuvage en vraie grandeur réalisés au Mali	6
4.1. Matériel d'étuvage utilisé	6
4.2. Procédure suivie	9
4.3. Résultats des essais d'étuvage	14
4.4. Première analyse des résultats obtenus au cours des différentes opérations	16
5 – Analyse de l'incidence de l'étuvage sur la qualité du fonio	16
5.1. Rappel du diagramme de transformation du fonio	17
5.2. Mondage (décorticage-blanchiment) du fonio étuvé au Mali	18
5.3. Analyse de la qualité technologique des échantillons prélevés	20
6 –Premières propositions d'amélioration de l'équipement d'étuvage	22
7 – Conclusion	23
Bibliographie	24
Annexes	25

1 - Introduction

En Afrique de l'Ouest, le fonio est valorisé depuis peu sous la forme de fonio précuit conditionné en petits sachets plastiques de 500g et 1 kg, commercialisé dans les boutiques de quartier ou les supermarchés des grandes villes ou également exporté en Europe ou aux États-Unis (Cruz, 2004).

Dans le cadre du projet européen FONIO « Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest » et précisément au niveau du workpackage 1, il a été prévu d'élaborer de nouveaux produits à base de fonio pour les marchés locaux ou pour l'exportation et notamment de proposer du fonio étuvé à l'instar de ce qui se fait dans la filière riz (Cruz, 2008).

Des premiers essais d'étuvage ont été réalisés sur quelques échantillons de fonio au laboratoire de technologie des céréales du Cirad à Montpellier (France) et au Laboratoire de Technologie Alimentaire (LTA) de l'IER à Bamako (Mali) au cours de l'année 2007. Ils ont permis d'élaborer un premier diagramme d'étuvage. Pour chercher à affiner ce diagramme et à définir un diagramme d'étuvage optimum, des essais en « vraie grandeur » ont été réalisés au Laboratoire de Technologie Alimentaire (LTA) de l'IER à Bamako à l'occasion d'une mission Cirad réalisée au Mali en janvier 2008.

2 - Rappel – intérêt de l'étuvage dans le cas du riz

L'étuvage est un procédé souvent appliqué au riz qui consiste en un traitement hydrothermique des grains paddy suivi d'un séchage. Cette technologie a pour avantage d'améliorer les caractéristiques technologiques, nutritionnelles et culinaires du riz.

D'un point de vue technique, l'étuvage est un procédé qui consiste en une précuisson du riz paddy préalablement hydraté à une teneur en eau voisine de 30 %. Cette précuisson permet une gélatinisation de l'amidon qui perd sa structure cristalline pour former des complexes assurant une meilleure cohésion du grain. L'étuvage améliore donc la qualité technologique du riz (rendement au décorticage) en ressoudant les grains clivés, diminuant ainsi le taux de brisures. Il accroît les qualités organoleptiques (fermeté et absence de collant) et nutritionnelles en enrichissant l'amande en vitamines hydrosolubles (vitamine B) et minéraux initialement concentrés dans le péricarpe.

3 – Premiers essais d'étuvage réalisés en laboratoire

3.1. Optimisation des conditions d'étuvage en laboratoire

L'étuvage doit améliorer la qualité technologique du fonio, principalement le rendement de transformation, mais aussi accroître le pouvoir de gonflement et diminuer le collant. Au laboratoire du Cirad à Montpellier, les conditions d'étuvage optimales ont été étudiées en croisant les effets de différentes variables: rendement de transformation, taux de brisures, consistance, gonflement, etc.

Trois facteurs indépendants ont été choisis : la durée de trempage (la température de trempage étant fixée à 30°C), la durée d'étuvage et la surpression durant l'étuvage. Les valeurs retenues ont été les suivantes :

Durée de trempage : 1h à 7h (avec une température de trempage de 30°C)
Durée d'étuvage: 10 à 26 min
Etuvage avec surpression : 0 à 0.4 bars

Un plan d'expérience Doehlert à trois facteurs, 3, 5, 7 niveaux et 15 essais incluant trois répétitions au point central, a été réalisé pour étudier l'effet des paramètres influents sur la qualité du produit et préciser les conditions optimales d'étuvage. Une fonction de désirabilité a été utilisée pour calculer une optimisation numérique simultanée de plusieurs réponses : rendement à l'usinage élevé, variation d'enthalpie élevée à 110°C, consistance moelleuse et gonflement élevé. Le profil de désirabilité incluant ces variables répond à 94%.

L'optimum a été obtenu pour les valeurs suivantes (Fliedel *et al*, 2008):

Durée de trempage : 3h47min (avec une température de trempage de 30°C)
Durée d'étuvage: 26 min
Surpression d'étuvage: 0 bar

Cette optimisation n'a pas inclus de critère sur la couleur du grain mais on sait que les consommateurs locaux recherchent en général un produit qui soit le plus blanc possible. Pour obtenir des grains peu colorés, il pourrait être nécessaire de réduire la durée de trempage et dans une moindre mesure la durée d'étuvage.



© J.-M. Méot (Cirad)

Figure 1. Autoclave pour l'étuvage du fonio au laboratoire du Cirad à Montpellier

3.2. Tests d'étuvage en conditions locales contrôlées au Mali

Pour compléter les précédents essais effectués à Montpellier sur des petits échantillons d'une centaine de grammes, des tests d'étuvage ont ensuite été réalisés au Laboratoire de Technologie Alimentaire (LTA) de l'IER à Bamako (Mali) avec des échantillons de grains plus importants avoisinant 5kg. Les effets de la température et de la durée de trempage, du PH, de la variété,... ont été étudiés.

Une durée de trempage de 4 à 5 h à une température de 20 à 25°C apparaît suffisante pour réhydrater le fonio paddy jusqu'à une teneur en eau de 32 à 35 %, valeurs requises pour permettre un étuvage correct. Un trempage durant toute une nuit peut se révéler plus pratique à réaliser en entreprise pour effectuer l'étuvage et le séchage au cours de la journée suivante. Il peut cependant affecter significativement la couleur des grains qui seront moins blancs après mondage (décorticage et blanchiment).

Après le trempage, on procède à l'étuvage du fonio paddy selon les principales étapes illustrées ci-dessous:

- *Nettoyage du fonio paddy.*

Après que le fonio paddy « tout venant » ait été trempé, on procède à un nettoyage par lavage (figure 2). Il consiste à verser le fonio paddy réhumidifié dans unealebasse remplie d'eau et à récupérer, à l'aide d'un tamis ou d'une passoire, les différentes impuretés légères qui surnagent (pailles, grains vides, graines étrangères,...)



© G. Fliedel (Cirad)

Figure 2. Nettoyage par lavage

- Ressuyage et essorage

Le fonio paddy est ensuite versé sur un tissu type « popeline » qui permet d'éliminer l'eau en excès. Puis il est essoré d'un geste vif de balancier du bras (figure 3).



© G. Fliedel (Cirad)

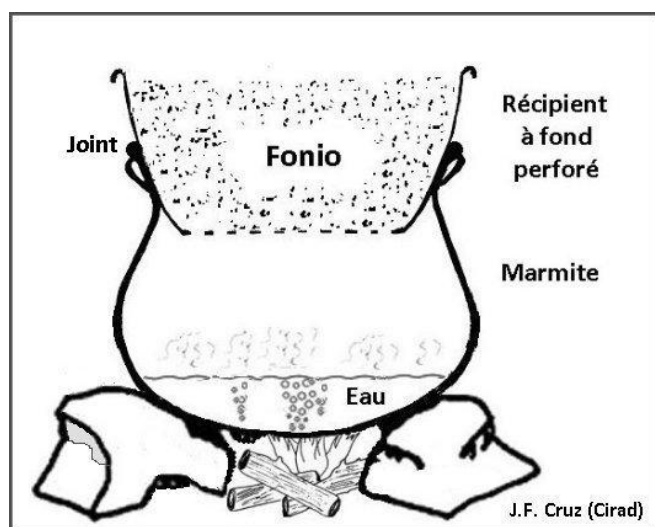


© G. Fliedel (Cirad)

Figure 3. Ressuyage et essorage

- Etuvage

L'ustensile qui a été utilisé pour l'étuvage du fonio paddy est un couscoussier traditionnellement utilisé pour la précuisson du fonio blanchi (figure 4). Ce couscoussier est classiquement constitué de deux récipients en aluminium. La marmite inférieure qui contient de l'eau est surmontée d'une marmite ou d'une bassine à fond perforé qui est remplie de fonio paddy. Les récipients sont assemblés par un joint d'étanchéité. L'ensemble du dispositif est placé sur un foyer amélioré ou un simple « foyer 3 pierres » (figure 5).



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 4. Couscoussier traditionnel

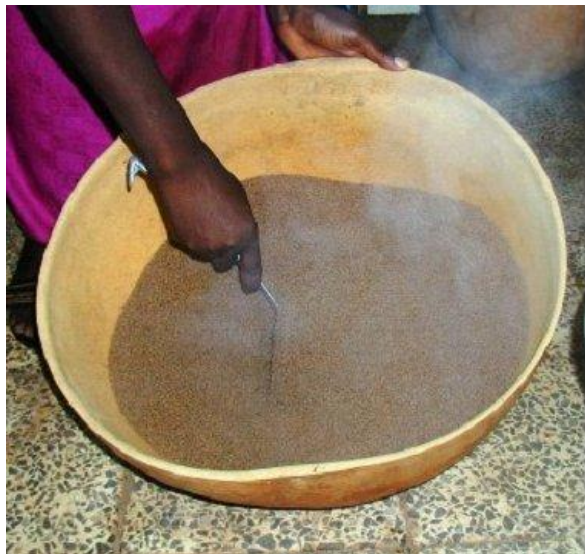


© G. Fliedel (Cirad)

Figure 5. Etuvage du fonio paddy

- Refroidissement et séchage solaire

A la fin de l'opération étuvage, les échantillons de grains étuvés sont vidés dans une calebasse pour être refroidis par brassage à l'aide d'une louche puis étalés en couche mince sur une claie de séchage (figure 6).



© G. Fliedel (Cirad)



© G. Fliedel (Cirad)

Figure 6. Refroidissement et séchage solaire

Les analyse des échantillons après transformation (mondage) ont montré qu'une acidification de l'eau de trempage avec de l'acide citrique pour réduire le pH de 7 à 3 n'entraîne pas une réduction significative de la couleur du fonio étuvé blanchi. Enfin, certaines variétés peuvent se révéler plus apte à l'étuvage. C'est le cas de la variété *Tama* dont les grains, après étuvage, restent plus clairs que ceux de la variété *Tamatioi*.

4 – Essais d'étuvage en vraie grandeur réalisés au Mali

4.1. Matériel d'étuvage utilisé

En 1997, un matériel d'étuvage simplifié avait été proposé par le Cirad et l'Irag (Institut de Recherche Agronomique de Guinée) pour améliorer les techniques d'étuvage du riz en Guinée dans le cadre du projet Pasal (Programme d'appui à la sécurité alimentaire» (Cruz et Souaré, 1997). Par rapport à la technique traditionnelle où un seul fût métallique est utilisé, l'amélioration consiste à séparer le paddy de l'eau dans lequel il est immergé, par l'utilisation de deux parties d'un fût métallique ; l'eau est mise en partie inférieure du fût où elle est portée à ébullition. Le riz paddy, installé en partie supérieure est traversé par la vapeur d'eau. Cette technologie a été développée par la FAO (figure 7).

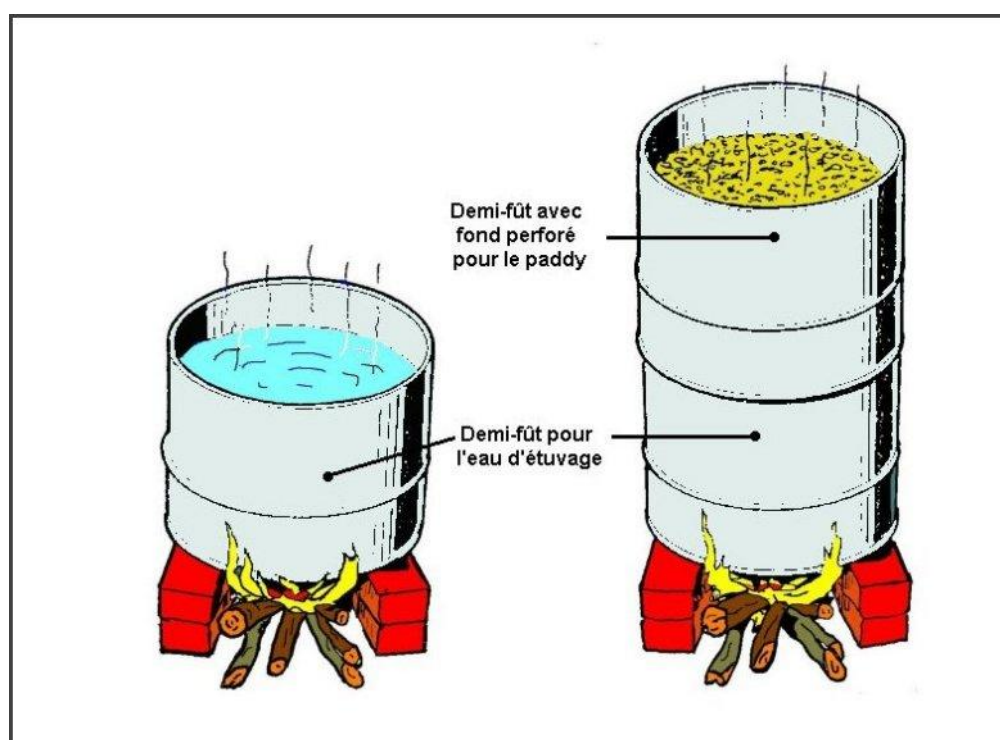


Figure 7. Demi-fûts métalliques pour l'étuvage du paddy (d'après FAO)

L'utilisation de simples fûts métalliques a pour principal inconvénient d'être d'une manutention difficile et pénible notamment pour les femmes qui ont la charge de vider ces fûts sur des aires de séchage en fin d'étuvage.

En 1997, le Cirad a reconçu cet équipement très simple, notamment pour en améliorer l'ergonomie en intégrant un châssis et un volant de pivotement. Les performances énergétiques ont également été accrues en remplaçant le traditionnel « foyer 3 pierres » par un « foyer amélioré » (Cruz et Souaré, 1997). Le schéma de l'éteveuse Cirad/Irag/Pasal est présenté en figure 8.

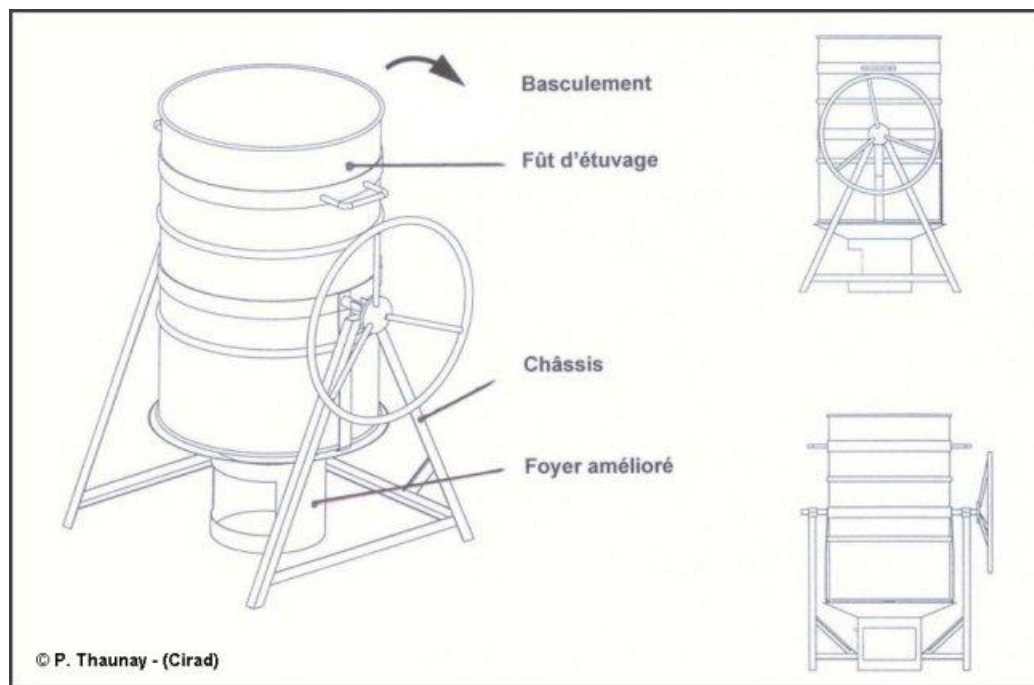


Figure 8. Schéma de l'étuveuse Cirad/Irag/Pasal (dessin P. Thaunay)

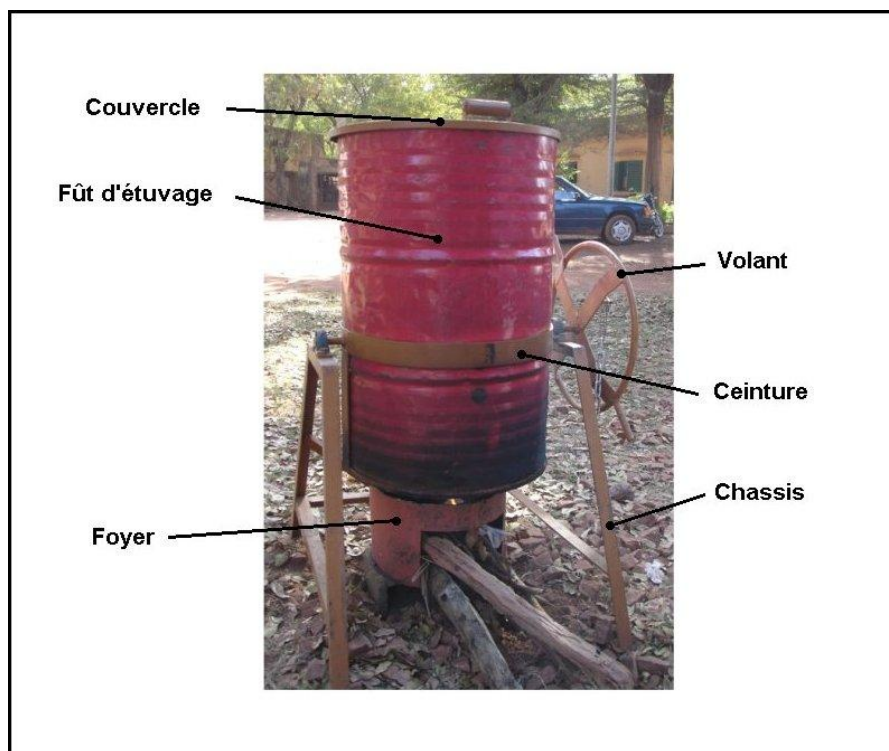
L'Association des Professionnels de l'Irrigation Privée et des Activités Connexes (APIPAC) au Burkina Faso a eu accès aux plans de l'équipement. L'APIPAC propose ainsi aujourd'hui, une « étuveuse à riz » dans sa gamme de technologies appropriées.

Pour réaliser les essais d'étuvage du fonio dans le cadre du projet européen FONIO, une telle étuveuse à riz a été achetée à un équipementier (adhérant de l'APIPAC) de Bobo Dioulasso puis acheminée dans les locaux de l'IER de Bamako à la fin de l'année 2007.

L'étuveuse est constituée de:

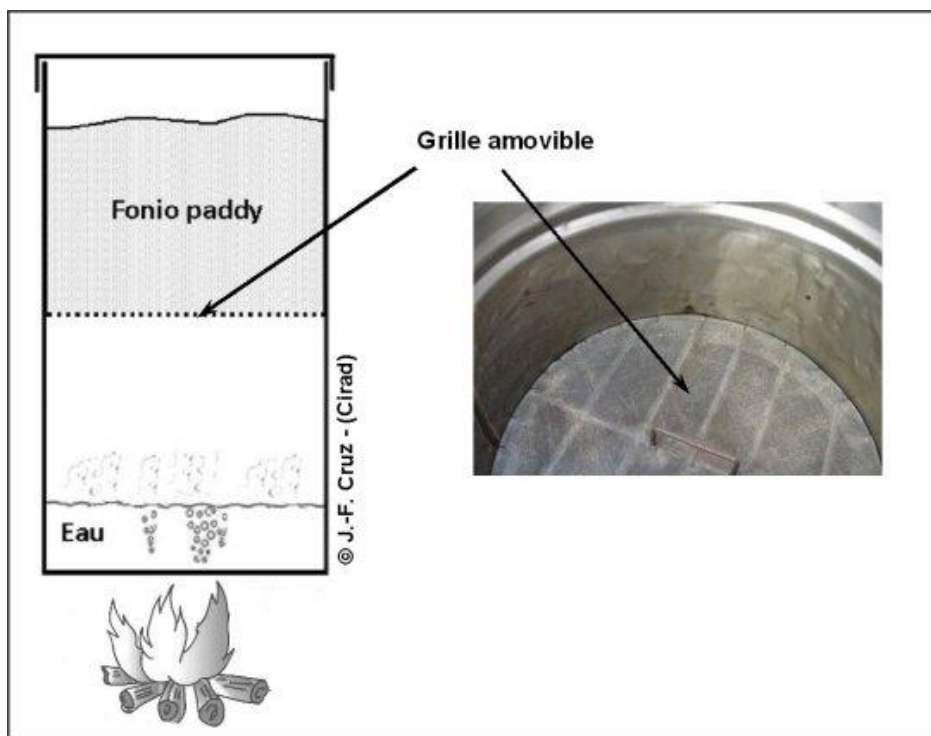
- un fût de récupération, à usage alimentaire (diam 570 mm, hauteur 880 mm), de 200 litres
 - ✓ le fond a été remplacé par une tôle épaisse, afin d'améliorer sa résistance aux flammes du foyer à bois. Une virole métallique de forme conique a été soudée pour canaliser les flammes. Un robinet, soudé en fond de fût, permet la vidange de l'eau résiduelle.
 - ✓ le dessus a été découpé pour être remplacé par un couvercle avec poignées et « trappe de visite » (photo n°3).
 - ✓ à mi hauteur du fût, une grille amovible permet de séparer le produit de la zone inférieure où est produite la vapeur d'eau
- une ceinture métallique de renfort, sur laquelle sont rapportés deux axes et un volant facilitant la rotation (vidange du produit étuvé) du fût.
- un châssis mécano-soudé équipé d'une ceinture métallique pivotante et reliée à un volant pour faciliter la rotation du fût et permettre une vidange aisée du produit étuvé.
- un foyer dit « amélioré » positionné sous le fût.

Les différents éléments de l'étuveuse sont présentés dans les figures 9 et 10 suivantes :



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 9. Etuveuse améliorée



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 10. Schéma du fût d'étuvage et détail de la grille de séparation

4.2. Procédure suivie

Les essais ont été réalisés dans les locaux du Laboratoire de Technologie Alimentaire (LTA) du Centre régional de recherche agronomique de Sotuba (CRRA) de l'Institut d'économie rurale (IER) de Bamako en janvier 2008. Un protocole d'essai avait été préalablement établi (voir annexe) et a été adapté au cours des essais.

Cinq essais d'étuvage ont été programmés du 24 au 29 janvier 2008 selon les conditions rappelées dans le tableau 1 ci-dessous

Tableau 1 : Conditions d'essais d'étuvage du fonio

Essai	Variété	Quantité (kg)	Humidité initiale (% bh)	Température eau de trempage (°C)		Durée de trempage (h)	Humidité finale (% bh)	Durée étuvage (min)
				θ initiale	θ finale			
1	<i>Tamatioi</i>	30	8,1	26,0	22,0	Nuit (15h30)	31,7	10
2	<i>Tamatioi</i>	30	8,1	65,0	45,0	3h	34,0	10
3	<i>Tama</i>	30	8,0	65,0	44,6	3h	32,0	10
4	<i>Tama</i>	30	8,0	65,0	46,3	3h	31,0	20
5	<i>Péazo</i>	60	7,7	25,3	24,8	Nuit (15h45)	30,8	10

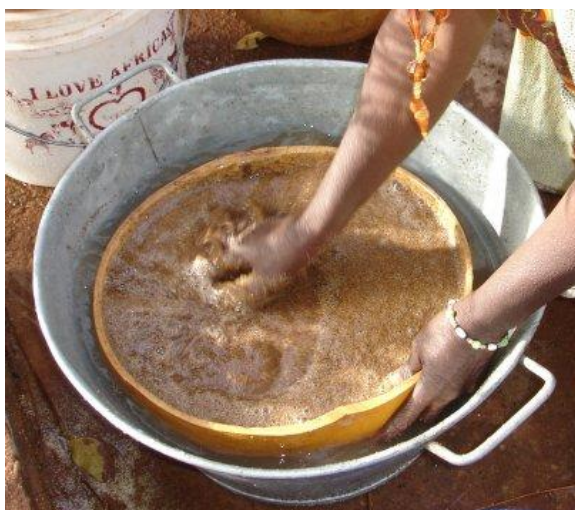
Les différentes opérations unitaires réalisées sont les suivantes :

- 1) Nettoyage de la matière première (fonio paddy),
- 2) Trempage et ressuyage du fonio paddy,
- 3) Etuvage du fonio paddy,
- 4) Séchage du fonio étuvé
- 5) Décorticage-blanchiment (mondage) du fonio étuvé

4.2.1. Nettoyage

Les différents lots de fonio utilisés pour les essais sont préalablement nettoyés au moyen d'un crible rotatif. Ce criblage permet de séparer les différentes impuretés (poussières, cailloux, paille, etc.) qui ont une taille différente des grains de fonio paddy (Cruz & Dramé, 2005).

Chaque lot est ensuite lavé dans une bassine ou une calebasse remplie d'eau et les différentes impuretés légères qui surnagent (pailles, grains vides, graines étrangères, etc.) sont récupérées, à l'aide d'un tamis ou d'une passoire (voir figure 2). Pour le dessablage, les opératrices versent ensuite les grains dans un récipient plus grand (calebasse ou bassine). Les grains de fonio paddy, plus légers, sont entraînés avec l'eau ainsi transvasée, alors que les sables ou les petits cailloux, plus lourds, restent au fond de la première calebasse (figure 11).



© J.-F. Cruz (Cirad)



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 11. Nettoyage (élimination des impuretés fines et des sables)

Lors du lavage, le fonio se réhydrate et son humidité apparente passe de 7 à 8% à plus de 25%. Les différents échantillons sont pesés avant et après nettoyage par lavage et les impuretés sont également pesées après avoir été séchées. Ces différentes valeurs sont reportées sur les fiches d'essais.

4.2.2. *Trempage et ressuyage/essorage*

Le fonio nettoyé est ensuite mis à tremper dans des bacs en plastique (figure 12). Selon les essais, le fonio est mis à tremper durant 3 h ou durant toute une nuit (voir tableau 1).



© J.-F. Cruz (Cirad)



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 12. Trempage du fonio paddy

A l'issue du trempage, le fonio est versé dans des paniers en osier recouvert d'un tissu très fin (type popeline) pour être égoutté. Après ressuyage, il est alors essoré par les femmes d'un geste vif de balancier du bras (figure 13).



© J.-F. Cruz (Cirad)



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 13. Ressuyage et essorage du fonio paddy après trempage

Au cours des opérations successives, les différentes données suivantes ont été relevées :

- masse de produit avant trempage,
- température de l'eau de trempage avant immersion du fonio,
- température de l'eau de trempage après immersion du fonio,
- durée du trempage,
- température de l'eau en fin de trempage,
- masse de produit en fin de trempage.

Après chacune des opérations de lavage et de trempage, un échantillon de fonio a été prélevé pour mesurer son humidité. On a noté que la quantité d'eau nécessaire au lavage/nettoyage et au trempage était de 2 litres par kg de fonio paddy.

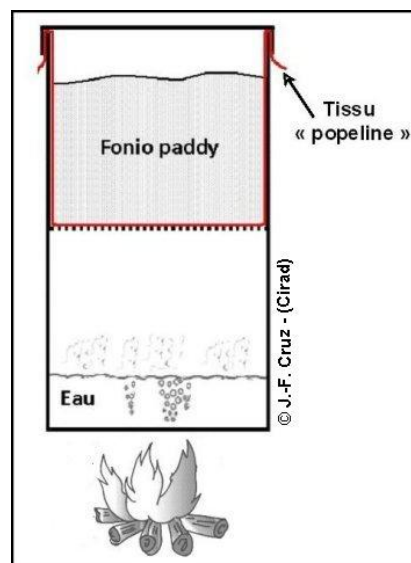
4.2.3. Etuvage

Préparation de l'étuveuse

L'étuveuse de type Cirad/Irag/Pasal présentée en figure 8 est préparée en versant dans le fût 10 à 15 litres d'eau selon que l'essai porte sur 30 kg ou 60 kg de fonio paddy et en plaçant sur la grille un chausson en tissu léger de type « popeline » qui recouvre intégralement la partie supérieure du fût et évite ainsi d'éventuelles fuites de grains au travers de la grille qui sépare les 2 bacs (figure 14).

Le foyer à bois est allumé pour faire bouillir l'eau et produire de la vapeur.

Figure 14. Fût d'étuvage avec chausson en tissu léger



Dix minutes après l'allumage du foyer, le fonio paddy trempé et ressuyé est versé dans l'étuveuse (figure 15). Le tissu est replié sur la masse de grains et le couvercle métallique (trappe de visite fermée) est mis en place pour recouvrir l'ensemble.



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 15. Etapes de l'étuvage

© J.-F. Cruz (Cirad)

Après un temps relativement long et dépassant 1 heure, la vapeur d'eau apparaît en surface du produit révélée par l'ouverture de la trappe de visite découpée dans le couvercle. L'étuvage est poursuivi pendant encore 10 à 20 mn selon l'essai considéré. Le bois est ensuite retiré du foyer pour arrêter l'opération. L'étuveuse est vidangée de son eau résiduelle (ouverture du robinet de vidange) et, par pivotement du fût, le fonio étuvé est versé dans des bassines pour être pesé et refroidi (figure 16).



© J.-F. Cruz (Cirad)



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 16. Pesée et refroidissement du fonio paddy après étuvage

Au cours des opérations successives, les différentes données suivantes ont été relevées :

- masse de fonio paddy trempé et ressuyé avant étuvage
- temps d'apparition de la vapeur en surface après remplissage de l'étuveuse
- durée d'étuvage après apparition de la vapeur en surface
- masse de fonio paddy après étuvage
- quantité d'eau consommée,
- quantité de bois consommé.

Un échantillon de fonio étuvé a été prélevé pour mesurer sa teneur en eau.

4.2.4. Séchage

Après étuvage, les lots de fonio sont versés sur des claies pour être séchés au soleil naturellement durant plusieurs jours selon la qualité de l'ensoleillement (figure 17). Alors que les opératrices apprécient visuellement et tactilement la fin du séchage, un échantillon est prélevé pour mesurer la teneur en eau du fonio après séchage.



Figure 17. Séchage du fonio étuvé

© J.-F. Cruz (Cirad)

Isotherme de sorption du fonio paddy

La courbe d'équilibre air-fonio a été étudiée et tracée au laboratoire Cirad de Montpellier. Les teneurs en eau d'équilibre en base humide ($H\%$ wb) ont été mesurées à 30°C et ont permis de tracer l'isotherme caractéristique du fonio paddy. La valeur en abscisse est l' a_w (activity of water). Les données expérimentales ont été lissées par le modèle GAB (Guggenheim, Anderson, Boer).

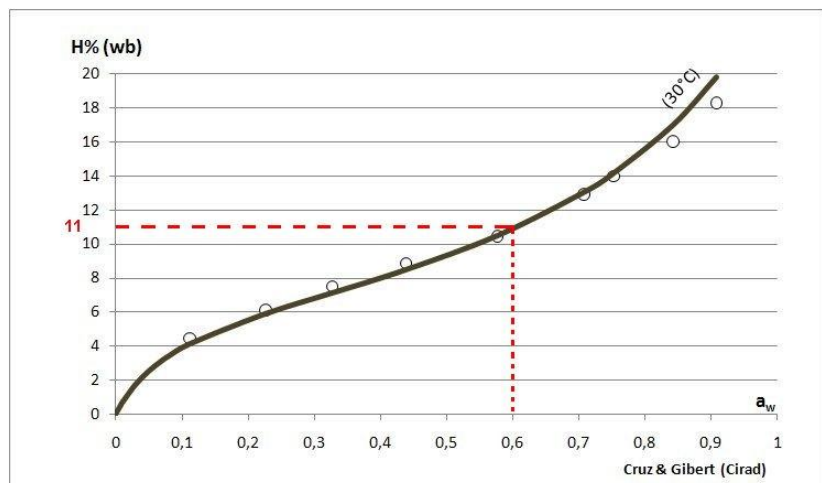


Figure 18. Courbe d'équilibre air-fonio à 30°C

4.3. Résultats des essais d'étuvage

Le diagramme ci-dessous synthétise les résultats obtenus au cours d'un essai d'étuvage (essai n°4).

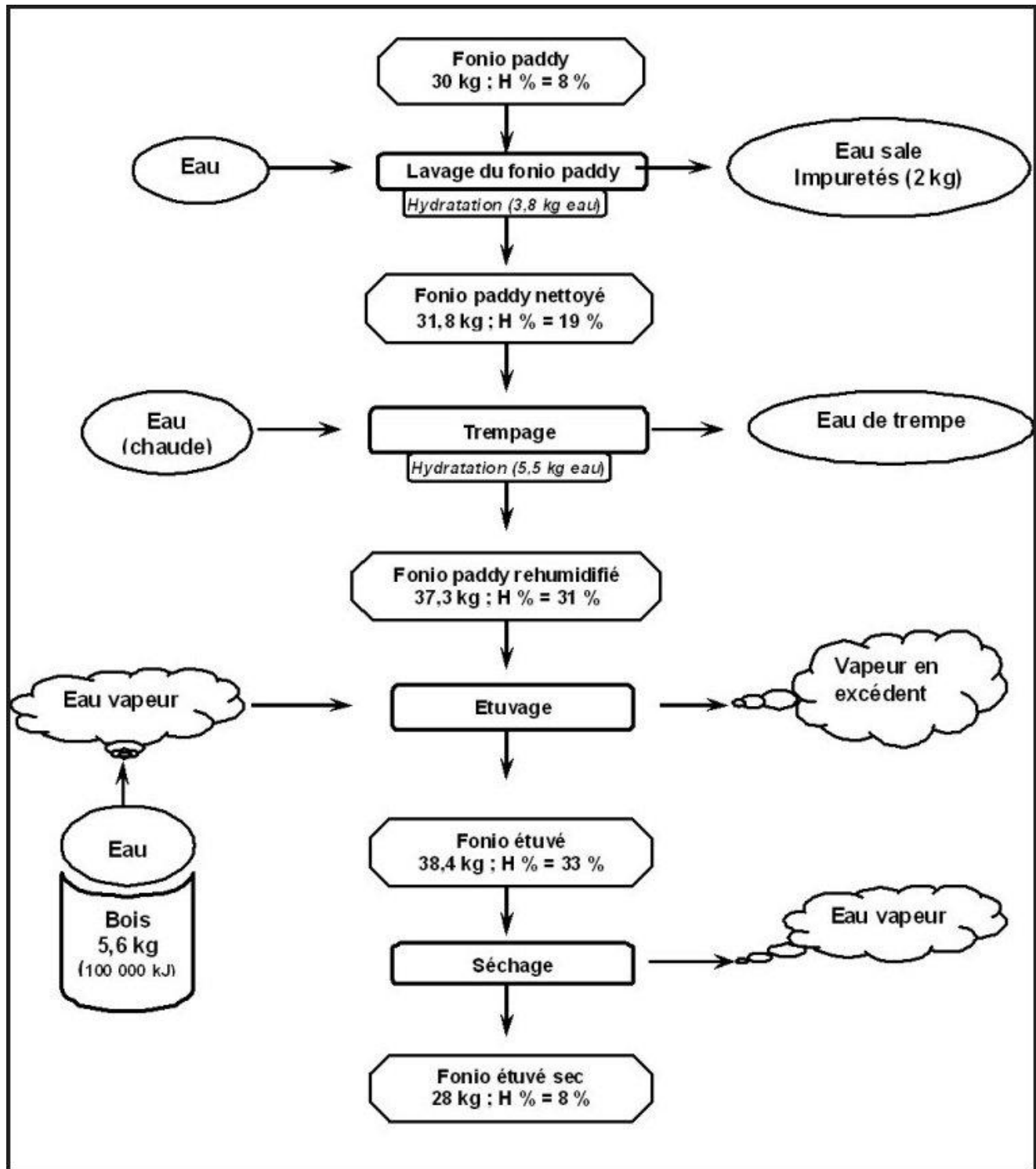


Figure 19: Diagramme complet d'étuvage du fonio

Les principaux résultats des cinq essais d'étuvage du fonio sont résumés dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Résultats des essais d'étuvage du fonio

Essai	1	2	3	4	5
Variété fonio	<i>Tamatioi</i>	<i>Tamatioi</i>	<i>Tama</i>	<i>Tama</i>	<i>Péazo</i>
Masse fonio paddy (kg)	30	30	30	30	60
Humidité fonio (% bh)	8,1	8,1	8,0	8,0	7,8
Impuretés (kg)	1,65	1,65	2,5	2	
Masse fonio lavé (kg)	33,3	33,3	32	31,8	68
Humidité après lavage (% bh)	21,8	21,8	21	19	18,6
Durée trempage (h)	15h30	3h	3h	3h	15h45
Masse fonio réhumidifié (kg)	38,2	39,5	37,2	37,3	79,9
Humidité après trempage (% bh)	31,7	34	32	31	30,8
Temps apparition vapeur (min.)	64	65	69	67	175
Durée d'étuvage (min.)*	10	10	10	20	10
Masse fonio étuvé (kg)	39,9	40,9	38,2	38,4	83,5
Humidité après étuvage (% bh)	34,6	36,3	33,8	33	33,7
Eau consommée par l'étuvage (l)	4,5	4	4,5	4,5	10
Bois consommé par l'étuvage (kg)	5,6	5,4	5,7	5,6	12,2
Masse fonio étuvé séché (kg)	28,6	28,7	27,8	28	61,3
Humidité après séchage (% bh)	8,8	9,2	8,5	8,0	9,8

* après apparition de la vapeur en partie supérieure du fût

4.4. Première analyse des résultats obtenus au cours des différentes opérations

Lors du nettoyage de la matière première par lavage, le fonio paddy est fortement réhydraté puisque son humidité passe de 8 % à plus de 20%.

Lors du trempage, la teneur en eau des grains s'accroît jusqu'à des valeurs voisines de 31 à 34 % nécessaires pour obtenir une bonne gélatinisation de l'amidon au cours de l'étuvage. On constate qu'un trempage du fonio paddy durant 3 heures dans une eau portée à 65 °C, puis refroidie naturellement, est aussi efficace, sinon plus, qu'un trempage durant plus de 15 heures dans une eau à 25 °C.

On avait déjà noté que la quantité d'eau nécessaire au lavage/nettoyage et au trempage était de 2 litres par kg de fonio paddy. Pour l'étuvage, cette quantité d'eau est faible puisqu'elle n'est que de 4 à 5 litres pour 30 kg de fonio paddy.

Au cours de l'étuvage, le teneur en eau des grains n'augmente que de 2 à 3 % pour atteindre 33 à 36% quelle que soit la durée de traitement à la vapeur.

Le bois utilisé est du *Combretum glutinosum* (appelé «Tiagara» en langue bambara) dont le pouvoir calorifique inférieur (PCI) a été estimé à environ 18 000 kJ/kg. L'étuvage de 30 kg de fonio paddy, avec l'étuveuse testée nécessite de brûler de 5,4 à 5,7 kg de bois soit une consommation énergétique d'environ 100.000 kJ.

Cette énergie a été utilisée pour transformer en vapeur les 4,5 litres d'eau consommés lors de l'étuvage soit une consommation d'environ 22 200 kJ par litre d'eau. L'énergie de vaporisation de l'eau n'étant que de 2 250 kJ/kg, le rendement énergétique de l'opération n'est donc que d'environ 10% ce qui est très faible mais assez fréquent avec ce type de foyer même dit « amélioré ».

On note enfin que pour l'essai n°5 portant sur 60 kg de fonio paddy, le temps d'apparition de la vapeur en surface du lot à étuver est extrêmement long et atteint près de 3h alors qu'il n'est que de 1h pour les essais à 30 kg. La charge dans le fût semble excessive et la hauteur de grains crée une perte de charge importante s'opposant à la progression du front de vapeur d'eau. Au cours de l'essai, certains grains ont carbonisés et pris en masse à proximité des parois de l'étuveuse. Les opératrices ont fait remarquer que cela se produit habituellement lorsque « *le fonio est trop mouillé* ». Une condensation sur les parois du fût est sans doute survenue à ce niveau qui a entraîné ce phénomène. La conception du fût d'étuvage devrait donc être reconsidérée en augmentant le diamètre et en réduisant la hauteur de manière à diminuer les effets de parois.

5 – Analyse de l'incidence de l'étuvage sur la qualité technologique du fonio

Pour étudier l'intérêt de l'étuvage sur la qualité technologique du fonio des échantillons de fonio étuvé prélevés lors des 5 essais ont été transformés d'une part au Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER à Bamako au Mali avec le décortiqueur GMBF et d'autre part au laboratoire de technologie des céréales du Cirad à Montpellier (France).

5.1. Rappel du diagramme de transformation du fonio

À l'instar de la transformation du riz, la transformation du fonio nécessite la succession de deux opérations unitaires (Cruz, 2001)

- le décortiquage, qui permet d'enlever les balles du fonio paddy (grain vêtu) pour obtenir le fonio décortiqué ou fonio complet (grain nu) ;
- le blanchiment, qui a pour objet d'éliminer le son (péricarpe et germe) du fonio complet pour obtenir le fonio blanc.

L'ensemble de ces 2 opérations (figure 20) peut s'appeler « pilage » lorsqu'elles sont effectuées manuellement ou « usinage » lorsqu'elles sont réalisées mécaniquement dans des unités industrielles. Dans le cas du fonio, on pourra préférer le terme de « mondage » dès lors que l'on se situe hors d'une transformation manuelle traditionnelle réalisée au pilon et au mortier.

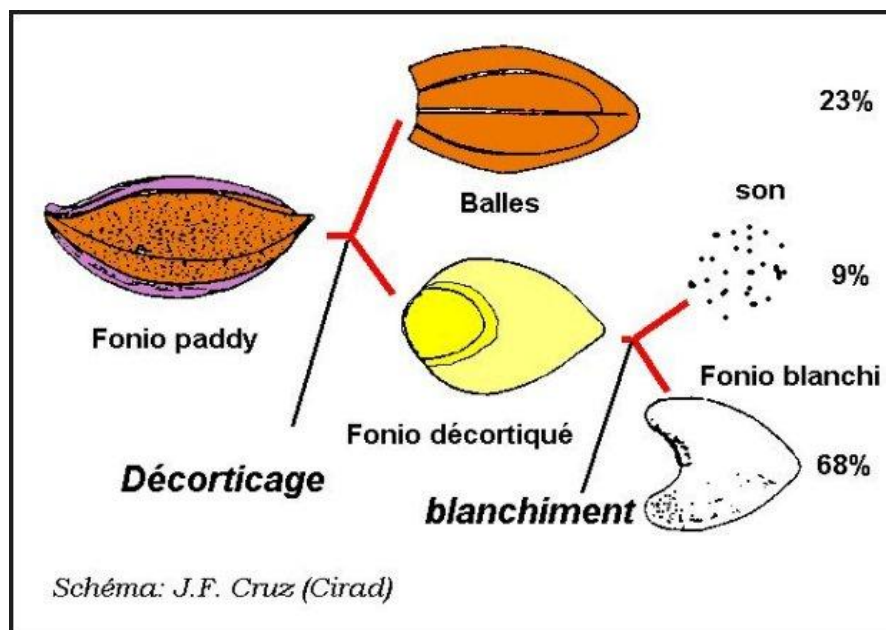


Figure 20. Diagramme de transformation du fonio

Les rendements de transformation du fonio sont donnés par les formules suivantes :

$$\text{Rendement de décortiquage : Rd} = \frac{\text{Quantité de fonio décortiqué}}{\text{Quantité de fonio paddy}} \times 100$$

$$\text{Rendement de blanchiment : Rb} = \frac{\text{Quantité de fonio blanchi}}{\text{Quantité de fonio décortiqué}} \times 100$$

$$\text{Rendement de transformation (ou mondage) : Rm} = \text{Rd} \times \text{Rb} = \frac{\text{Quantité de fonio blanchi}}{\text{Quantité de fonio paddy}} \times 100$$

5.2. Mondage (décortilage-blanchiment) du fonio étuvé au Mali

Les essais de mondage (ou décortilage-blanchiment) du fonio étuvé ont été réalisés le 31 janvier 2008 en utilisant le décortiqueur GMBF mis à disposition du LTA par le Cirad. Ils ont porté sur des échantillons de 9 kg de fonio étuvé.



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 21. Décortilage du fonio étuvé au LTA à Bamako

Le mondage du fonio a été réalisé en 2 passages successifs :

Le premier passage permet de réaliser le décortilage. Le fonio décortiqué est récupéré au niveau de la bassine placée sous le canal de vannage alors que les balles sont récupérées au niveau du cyclone.

Le second passage est réalisé 10 minutes après de manière à permettre aux grains décortiqués de refroidir. Ce second passage permet de réaliser le blanchiment. Le fonio blanchi est alors récupéré au niveau de la bassine placée sous le canal de vannage alors que les sons sont récupérés au niveau du cyclone.



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 22. Récupération du fonio étuvé blanchi sous le canal de vannage du décortiqueur GMBF

Les principaux résultats des essais de mondage du fonio sont résumés dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : Résultats des essais de mondage du fonio

Essais	1	2	3	4	5
Variétés de fonio	<i>Tamatioi</i>	<i>Tamatioi</i>	<i>Tama</i>	<i>Tama</i>	<i>Péazo</i>
Matière première (fonio paddy)					
Rendement de décortilage (%)	81,2		82,0		82,7
Rendement de blanchiment (%)	92,1		91,0		91,4
Rendement de mondage (%)	74,8		74,6		75,6
Fonio étuvé					
Masse de fonio étuvé paddy (kg)	9	9	9	9	9
Masse de fonio étuvé décortiqué (kg)	7,45	7,25	7,4	7,3	6,9
Rendement de décortilage (%)	82,8	80,6	82,2	81,1	76,7
Durée de décortilage	7min45s	6min35s	6min12s	6min50s	5min34s
Débit de décortilage (kg/h)	70	82	87	79	97
Masse de fonio étuvé blanchi (kg)	7,1	7,1	7	6,5	6,6
Rendement de blanchiment (%)	95,3	97,9	94,6	89,0	95,7
Durée de blanchiment	3min10s	2min55s	2min19s	2min27s	2min7s
Débit de blanchiment (kg/h)	141	149	192	179	196
Rendement de mondage (%)	78,9	78,9	77,8	72,2	73,3

L'analyse des résultats montre que l'étuvage améliore de 2 à 3 points les rendements de mondage sauf apparemment dans les essais 4 et 5.

Mais l'analyse en laboratoire des échantillons prélevés pour les 5 essais montrent bien une amélioration des rendements dans tous les cas (tableau 4 suivant). Les moins bons résultats obtenus avec les essais 4 et 5 à l'atelier du LTA/IER de Sotuba sont peut être à un mauvais réglage du décortiqueur GMBF lors des opérations de décortilage et de blanchiment.

Dans tous les cas, on note cependant que les rendements de décortilage/blanchiment (ou mondage) obtenus avec du fonio paddy étuvé sont très supérieurs à ceux qui sont couramment observés avec du fonio paddy tout venant et qui sont plutôt voisins de 65 à 68 %.

5.3. Analyse de la qualité technologique des échantillons prélevés

Des échantillons de matière première et de fonio étuvé ont été prélevés lors des essais et analysés au laboratoire de technologie des céréales du Cirad à Montpellier (France).

Les analyses ont porté sur la qualité technologique (rendement d'usinage et taux de brisures) des échantillons de 100g.

5.3.1. Matériels utilisés

Nettoyage du fonio paddy

En laboratoire le nettoyage est réalisé au moyen du tamiseur à courant d'air Alpine type 200 LS (figure 23). L'échantillon de 100 g de fonio paddy est tamisé pendant 2 min avec un tamis de 1000 μm pour séparer les grosses particules (paille, graines étrangères, cailloux), le passant est récupéré et tamisé sur un tamis de 710 μm qui laisse passer les fines impuretés.

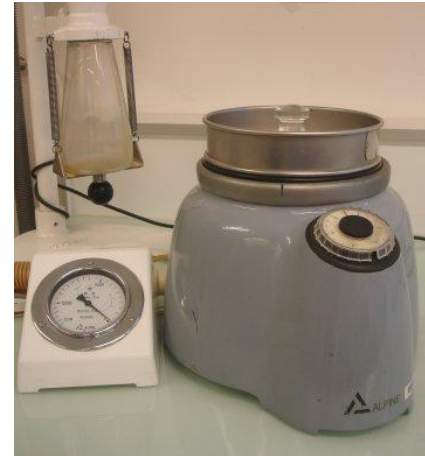
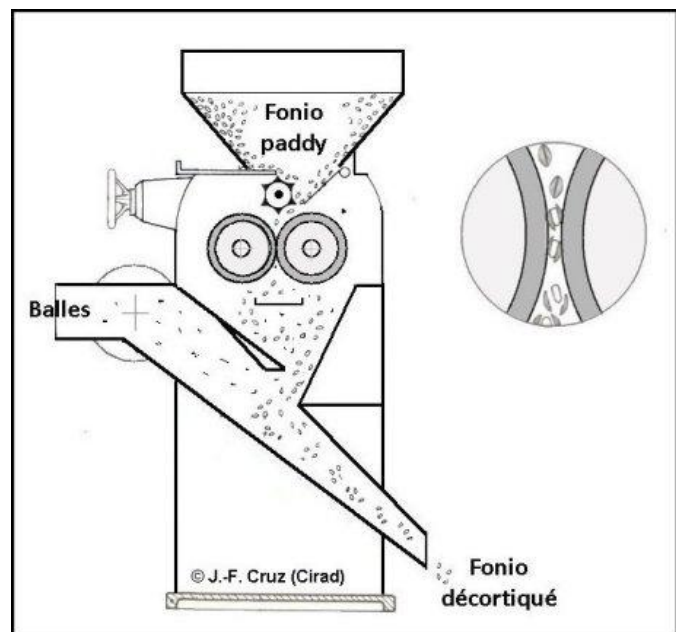


Figure 23. Tamiseur à courant d'air Alpine type 200 LS

© J.-F. Cruz (Cirad)

Décortication du fonio paddy

Le décortication du fonio paddy est réalisé avec un décortiqueur à rouleaux de caoutchouc Sataké, habituellement utilisé pour le riz et que le Cirad a spécialement adapté au fonio. Un tel décortiqueur est constitué de deux rouleaux en caoutchouc tangents, tournant en sens inverse à des vitesses différentes (figure 24). Le décortication des grains s'effectue par « cisaillement » lors du passage des grains entre les deux rouleaux. Le mélange des grains décortiqués et des balles tombe dans le canal de séparation où les balles sont aspirées par un ventilateur, alors que le fonio décortiqué est récupéré par gravité au bas de la machine. L'écartement entre les rouleaux, réglable en fonction de la taille des grains, est fixé au minimum pour le fonio étant donnée la petitesse des grains. Le décortication est réalisé en 2 passages successifs pour accroître le degré de décortication et réduire la quantité de grains de fonio paddy dans les grains de fonio décortiqué. Enfin, les balles sont repassées dans l'appareil (rouleaux écartés) pour récupérer les grains qui auraient pu être entraînés avec les balles.



© J.-F. Cruz (Cirad)

Figure 24. Schéma de principe du décortiqueur à rouleaux de caoutchouc (d'après FAO)

Blanchiment du fonio décortiqué

Les grains décortiqués sont blanchis dans un blanchisseur à riz Sataké spécialement modifié pour le fonio en réduisant la capacité de la chambre de blanchiment (Figure 3). Le blanchiment est réalisé par abrasion des grains sur une meule (n° 36) verticale rotative tournant dans une chambre cylindrique dont la paroi est recouverte d'un grillage fin adapté à la taille du fonio. Au cours du blanchiment, les sons et les fines brisures passent au travers du grillage et tombent dans un bac de récupération. Les grains de fonio sont progressivement blanchis et récupérés en fin d'opération lors de l'ouverture de la chambre. Un blanchiment optimal est obtenu avec 80g de grains pendant 1min 15s à la vitesse maximale.



© J. Grabulos (Cirad)

Figure 25. Blanchisseur Sataké de laboratoire

5.3.2. Analyse de la qualité technologique du fonio étuvé

Après passage au blanchisseur, les grains blanchis sont vidés de la chambre d'abrasion et tamisés manuellement avec un tamis de 400 μm pour éliminer les sons résiduels. Les sons récupérés dans le bac inférieur sont également tamisés pour récupérer d'éventuelles fines brisures.

Les grains blanchis et les fines brisures récupérées sont ensuite tamisés avec un tamis de 500 μm . Toutes les portions de grains qui passent au travers de ce tamis de 500 μm sont alors considérées comme des brisures.

Le taux de brisures correspond à la masse de brisures récupérées fractions, rapportée en pourcentage à la masse totale des grains blanchis (entiers et brisures).

Les rendements de décortiquage, de blanchiment et de transformation ou « mondage » ont été définis précédemment.

Les rendements de décortilage, de blanchiment et de « mondage » et le taux de brisures de la matière première (fonio non étuvé) ont également été mesurés selon le même protocole pour, par comparaison, mesurer l'impact de l'étuvage sur la qualité technologique du fonio.

Les résultats des analyses (matière première et fonio étuvé) sont donnés dans le tableau 4 suivant:

Tableau 4 : Qualité technologique du fonio paddy (matière première) et du fonio étuvé

Essais	1	2	3	4	5
Variétés de fonio	<i>Tamatioi</i>	<i>Tamatioi</i>	<i>Tama</i>	<i>Tama</i>	<i>Péazo</i>
Matière première (fonio paddy)					
Rendement de décortilage (%)	81,2		82,0		82,7
Rendement de blanchiment (%)	92,1		91,0		91,4
Rendement de mondage (%)	74,8		74,6		75,6
Taux de brisures (tamis 500 µm)	0,19		0,64		0,72
Fonio étuvé					
Rendement de décortilage (%)	82,9	83,0	81,7	82,5	83,2
Rendement de blanchiment (%)	94,6	94,4	93,8	94,7	94,5
Rendement de mondage (%)	78,4	78,4	76,6	78,1	78,6
Taux de brisures (tamis 500 µm)	0,07	0,04	0,07	0,07	0,05

Pour la matière première utilisée, on note que les rendements de mondage sont relativement élevés par rapport aux valeurs habituellement rencontrées et qui sont souvent voisines de 68 % (figure 20). Cela peut s'expliquer d'une part parce que la proportion des balles semble plus faible sur ces 3 variétés que sur d'autres variétés courantes (environ 18 % au lieu de 23 %) et d'autre part parce que le blanchiment n'est sans doute pas réalisé totalement avec le blanchisseur abrasif Sataké.

Dans tous les cas, l'étuvage montre une amélioration des rendements obtenus de 2 à 3% mais aussi une diminution du taux de brisures même si ce taux reste par ailleurs très faible.

6 –Premières propositions d'amélioration de l'équipement d'étuvage

Les essais réalisés ont montré les limites techniques de l'équipement d'étuvage utilisé. Les améliorations suivantes devraient être apportées :

- Pour faciliter la progression du front de vapeur dans l'étuveuse, il apparaît nécessaire de revoir la conception de l'étuveuse en augmentant le diamètre et en réduisant la hauteur de manière à réduire les pertes de charge dans la masse de grains et à diminuer les effets de parois.

- Cette modification de la forme conduit à abandonner l'idée de fabriquer des étuveuses à partir de fûts de récupération de dimensions standards pour privilégier une fabrication spéciale par des équipementiers locaux.
- La consommation énergétique doit également être améliorée et il apparaît indispensable de promouvoir des équipements bois-énergie de meilleur rendement

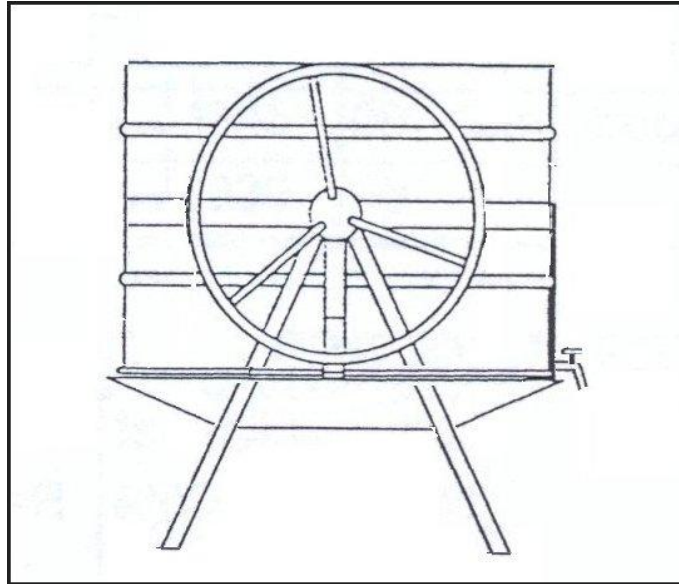


Figure 26. Proposition d'une étuveuse modifiée

7 – Conclusion

Les différents essais réalisés et l'analyse des échantillons de fonio prélevés avant et après traitement des grains à la vapeur confirment que le procédé d'étuvage améliore la qualité technologique et diminue le taux de brisures des grains. Un trempage trop long peut néanmoins affecter la couleur du grain. Après étuvage, l'amande du grain de fonio étuvé est d'une couleur dorée à brune, d'autant plus prononcée que l'étuvage est prolongé. A la cuisson, le grain de fonio aura tendance à s'éclaircir progressivement, même s'il ne retrouve pas tout à fait sa couleur blanche d'origine. L'étuvage améliore la qualité culinaire du fonio car les grains de fonio étuvés sont moins collants et gonflent souvent mieux à la cuisson.

Des recherches doivent être poursuivies pour parfaire la connaissance de l'étuvage du fonio et mettre au point des équipements d'étuvage adaptés aux besoins des petites entreprises et des groupements de femmes, et prenant mieux en compte les contraintes énergétiques et environnementales.

Bibliographie

Cruz J.F., 2008. *La filière fonio en Afrique de l'Ouest* (J.-F. Cruz, éd.), Conférence Fonio, Bamako, Mali [CD-Rom], Cirad, Montpellier.

Fliedel G., Pivette C., Grabulos J., Fallet V., Boré Guindo F., Tangara A., Tangara K., Coulibaly Sidibé S., 2008. Optimisation d'un procédé d'étuvage adapté au fonio [Poster]. In : *La filière fonio en Afrique de l'Ouest* (J.-F. Cruz, éd.), [CD-Rom], Cirad, Montpellier, Conférence Fonio, 28 avril 2008, Bamako, Mali.

Rivier M., Cruz J.-F., 2007. Étude de la précuisson du fonio au sein de petites entreprises de transformation à Bamako (Mali) et à Ouagadougou (Burkina Faso). Délivrable 7. Projet européen FONIO, Cirad, Montpellier, France, 12 p.

Cruz J.-F., Dramé D., 2005. Technologies post-récolte du fonio. Projet CFC - Amélioration des technologies post-récolte du fonio, [CD-Rom], Cirad, Montpellier, France.

Cruz, J.F. 2004. Fonio: a small grain with potential. LEISA, magazine on low external input and sustainable agriculture. Valuing crop diversity, 20, 16-17.

Cruz J.-F., 2001. *Le fonio*, document multigraphié, Cirad, Montpellier, France, 24 p.

Cruz J.F., Souare D., 1997. Transformation du riz en Guinée. Cirad Sar n°106/97

Annexes



Essais d'étuvage du fonio **(Etuveuse type Cirad/Irag/Pasal fabriquée au Burkina par Apipac)**

1. Présentation de la machine

1.1. - Description générale

- Type de matériel, marque ou origine.

Etuveuse conçue par le Cirad en 1998 en partenariat avec l'Irag et en appui au projet Pasal travaillant sur l'amélioration de la qualité du riz en Guinée. Donc étuveuse dite « type Cirad/Irag/Pasal ».

Les plans ont apparemment été repris par l'Apipac (Association des Professionnels de l'Irrigation privée et des Activités Connexes) au Burkina Faso qui fait construire l'étuveuse par des artisans locaux dans différentes régions du Burkina.

Dans le cadre du projet FONIO, une étuveuse de ce type a été acquise par l'IER (Mali) auprès de l'artisan OUATTARA Mamadou (Soldev) à Bobo Dioulasso en octobre 2007.

- Caractéristiques de construction, dimensions, poids :
- Capacité :
- Source d'énergie, etc.

1.2. - Particularités

Une adaptation particulière a été nécessaire pour utiliser l'étuveuse avec du fonio. Du fait de la petitesse des grains de fonio (< 1 mm), il a été nécessaire de recouvrir le fond perforé d'une maille métallique et d'un un chausson en tissu léger qui recouvre intégralement la partie supérieure du fût

2 Caractérisation de la matière première

2.1. - Type de grain, variété

Plusieurs types de fonio paddy ont été acquis par l'IER. Deux variétés dans la région de Tominian : la variété «Tama» réputée blanche et la variété «Tamatioi» plus foncée. Une variété dite «Guinée» achetée au marché de Guinée à Bamako.

2.2. - Propreté des grains

Vérification visuelle la propreté du grain. Au cas où le lot apparaît manifestement sale (présence de matières étrangères: pailles, petites pierres, etc..), il sera nécessaire de procéder à un nettoyage. Le taux d'impureté pourra être apprécié par différence de pesée entre le lot «tout venant» et le lot nettoyé.

Certaines transformatrices ont l'habitude d'effectuer un lavage rapide du paddy pour éliminer les impuretés légères et les grains immatures ou vides.

2.3. - Humidité des grains

Prélever un échantillon par lot. La mesure de l'humidité pourra être réalisée à l'étuve (par ex. 130°C pendant 2h). Mesure également au Samap étalonné Fonio (une table d'étalonnage a été élaborée par le Cirad)

2.4. - Autres informations

(Toute autre information disponible)

La variété « Tamatioi » est réputée plus friable que la variété « Tama »

Nota : des échantillons de matière première doivent être prélevés pour analyse ultérieure en laboratoire.

3. Préparation de l'essai

L'essai devra s'effectuer dans un endroit permettant une circulation et une manipulation aisées autour de la machine ou de l'installation.

3.1 - Approvisionnement en matière première

A proximité de la machine, on doit préalablement constituer une réserve suffisante de grains pour que les tests puissent se dérouler sans interruption inopportune.

Les premiers essais porteront sur des lots d'environ 30 kg de paddy et un essai sera réalisé à charge maximum de l'éstuveuse : 60 kg (à vérifier !)

3.2. – Source d'énergie

Approvisionnement en bois ou charbon de bois

3.3. - Vérification de l'état de la machine

Vérifier le bon état général de la machine (toile métallique fonio paddy, absence de fuites, ...)

3.4. Matériel nécessaire à la réalisation des essais

Sur le site

- Balance et ou pesons pour pesée des lots
- Chronomètres (ou montres)
- Sonde thermométrique ou thermomètre
- Sachets pour échantillons
- Récipients (bassines ou seaux).
- Calculatrice
- Fiches d'essai
- Divers (humidimètre portatif Samap,...)

(En laboratoire pour analyse des échantillons et selon les produits)

- Etuve
- Balance de précision
- Four (taux de cendres)
- Tamis
- etc..

3.5. Diagramme d'étuvage

D'après les essais réalisés en laboratoire (Cirad Montpellier) le diagramme d'étuvage optimum doit intégrer les valeurs cadre suivantes :

Teneur en eau minimum du fonio paddy pour favoriser la gélatinisation de l'amidon au cours de l'étuvage: 31%-34%

Cette réhumidification du paddy sera obtenue par trempage du fonio dans de l'eau. La durée de trempage est fonction de la température de l'eau de trempage. Plus la température est élevée (mais sans dépasser la température de gélification) et plus la durée peut être courte.

On testera 3 points :

Θ initiale de l'eau	Durée de trempage
65 -67 °C	2 h
30-35 °C	4h
Θ eau du robinet (20-25°C ???)	5h

Nota : On pourra également faire un essai en faisant un trempage à l'eau froide (eau du robinet) pendant toute une nuit comme le pratiquent certaines transformatrices

Temps d'étuvage : 10 min à partir de l'apparition de la vapeur en surface
(soit une durée totale étuvage d'environ : 25 min pour apparition vapeur + 10 mn)

4. Réalisation des essais

4.1. Essai préliminaire

C'est une phase de «prise en main» de la machine. L'essai préliminaire portera sur 30 kg de fonio paddy. On pourra ainsi mesurer les hauteurs d'eau dans le compartiment inférieur avant et après étuvage. Pour le riz, le constructeur préconise de mettre 10l d'eau au départ. Au cours d'un premier essai, on va tout d'abord chercher à apprécier les bons « réglages » qui permettront d'obtenir ce qui pourrait être l'optimum. (Pour cela, s'entourer de personnes-ressource capable d'apprécier cet optimum !).

4.2. - Essai d'étuvage

Pour chaque lot, on pourra procéder de la même manière. Toutes les informations seront consignées sur une fiche d'essai.

- Pesée du lot de grains propres
- Mesure de l'humidité initiale des grains
- Mesure de l'humidité de l'eau de trempage
- Trempage du lot de grains (Pendant cette période : remplissage d'eau dans le compartiment inférieur et allumage du foyer pour commencer à chauffer l'eau)
- Essorage énergique du lot de grain
- Mesure de l'humidité des grains après trempage et essorage
- Remplissage du compartiment supérieur avec le lot réhumidifié
- Déclencher le chronomètre dès le chargement terminé.
- Noter le temps nécessaire à l'apparition des premières vapeurs au dessus du lot
- Laisser étuver pendant 10 min (en maintenant un foyer constant) (faire un essai à 20 mn)

- Retirer le foyer
- Laisser refroidir et évacuer l'eau résiduaire (ouverture vanne)
- Basculer l'étuveuse pour récupérer les grains étuvés.
- Laisser refroidir et prendre un échantillon (mesure humidité)
- Faire sécher le lot (à l'abri, éviter les fortes températures pouvant altérer la couleur)
- Pesée du lot sec et mesure de l'humidité
- Prise d'échantillons (500g) pour analyse en laboratoire (qualité technologique et culinaire)

Nota :

Qualité technologique

Des mesures de rendement d'usinage pourront être faites à l'IER en utilisant le décortiqueur GMBF. On pourra également déterminer le taux de brisures et la couleur des grains (utilisation d'un nuancier).

Essai d'étuvage du fonio

Essai d'étuvage n° _____

Date :

Lieu :

Réalisateur(s) :

Descriptif de la machine : étuveuse Cirad/Irag/Pasal (fabriquée au Burkina)

Réglages de la machine

Divers : (Trappe, etc) :

Quantité d'eau initiale:kg

Quantité d'eau résiduellekg

Matière première

Variété :

Masse du lot avant trempage $P_i = \dots \text{Kg}$

Humidité (b.h) $H_i = \dots \%$

Masse du lot après lavage $P_l = \dots \text{Kg}$

Humidité (b.h) $H_l = \dots \%$

Impuretés (immatures) $I = \dots \text{kg}$

Mesures

Durée de trempage $T_t = \dots \text{min} \dots \text{s}$ (Début le à ...h... ; fin le ... à ...h...)

Température eau de trempage $\Theta_1 = \dots ^\circ\text{C}$, puis $\Theta_2 = \dots ^\circ\text{C}$, puis en fin $\Theta_3 = \dots ^\circ\text{C}$

Masse du lot après trempage $P_h = \dots \text{Kg}$

Humidité (b.h) $H_h = \dots \%$

Temps d'apparition vapeur au dessus du lot $T_v = \dots \text{min} \dots \text{s}$

Durée d'étuvage $T_e = \dots \text{min} \dots \text{s}$

Masse du produit étuvé (après ressuyage) $P_e = \dots \text{Kg}$

Humidité produit étuvé (b.h) $H_e = \dots \%$

Séchage : Séchoir ??

Date début : àh (température :

Date fin : àh (température :

Masse du produit séché $P_s = \dots \text{Kg}$

Humidité produit sec (b.h) $H_s = \dots \%$

Consommations

Eau

Quantité initiale d'eau :l, résiduelle :, consommée :

Bois

Quantité initiale de bois :kg, résiduelle :, consommée :

Opération de décortiquage/blanchiment du fonio étuvé

Décortiquage/blanchiment Essai n° _____

Date :

Lieu :

Réalisateur(s) :

Descriptif de la machine : *Décortiqueur GMBF (mis à disposition par Cirad à l' IER de Sotuba)*

Décortiquage :

Masse de fonio paddy étuvé : $Ps1 = \dots\dots\dots\text{kg}$

Température fonio paddy étuvé : $\Theta_p = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$

Durée de décortiquage $Td = \dots\dots\text{min}.\dots\text{s} = \dots\dots\dots\text{s}$

$$\text{Débit } Qd = \frac{Ps1}{Td} \times 3600 = \dots\dots\dots \text{ Kg/h}$$

Masse de fonio décortiqué vanné $Pfd = \dots\dots\dots \text{ Kg}$

Température fonio décortiqué : $\theta_d = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$

$$\text{Rendement déc } Rd = \frac{Pfd}{Ps1} \times 100 = \dots \%$$

Observations :

Couleur au nuancier :

Blanchiment :

Masse de fonio décortiqué : $Ps2 = \dots\dots\dots\text{kg}$

Température fonio décortiqué: $\Theta = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$

Durée de blanchiment $Tb = \dots\dots\text{min}.\dots\text{s} = \dots\dots\dots\text{s}$

$$\text{Débit } Qb = \frac{Ps2}{Tb} \times 3600 = \dots\dots\dots \text{ Kg/h}$$

Masse de fonio blanchi vanné $Pfb = \dots\dots\dots \text{ Kg}$

Température fonio blanchi : $\theta_b = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$

$$\text{Rendement blanc } Rb = \frac{Pfb}{Ps2} \times 100 = \dots \%$$

Taux de brisures (tamis 500µm)

Masse échantillon Ech =

Masse brisures Br =

$$\text{Taux brisures blanchi} = \frac{Br}{Ech} \times 100 = \dots\%$$

Observations :

Couleur au nuancier :

Rendement de transformation : $= Rd \times Rb = \dots\dots\dots\text{soit } \dots\dots\dots\%$

ANNEXES

Etuveuse Cirad/Irag/Pasal

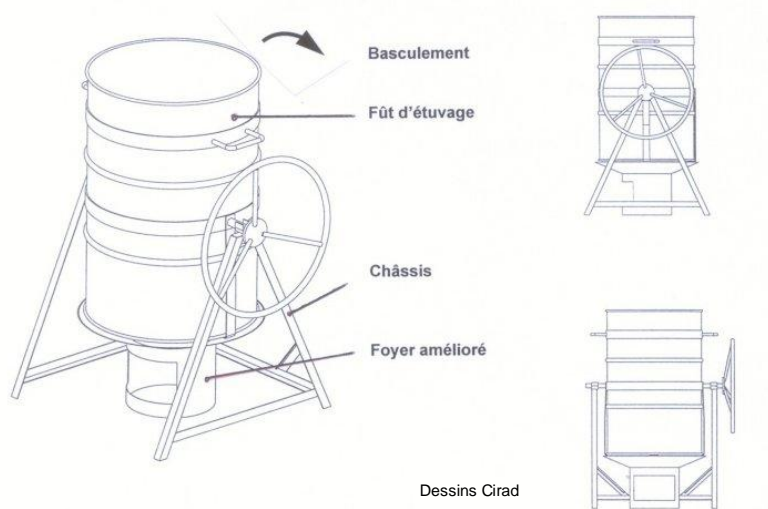
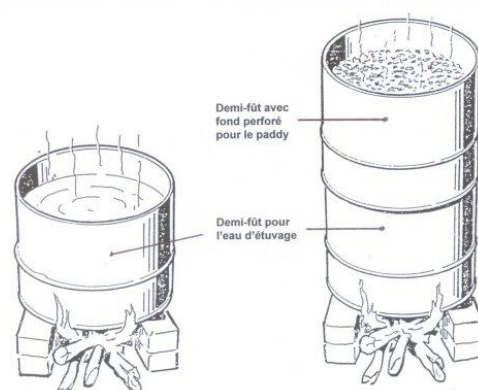
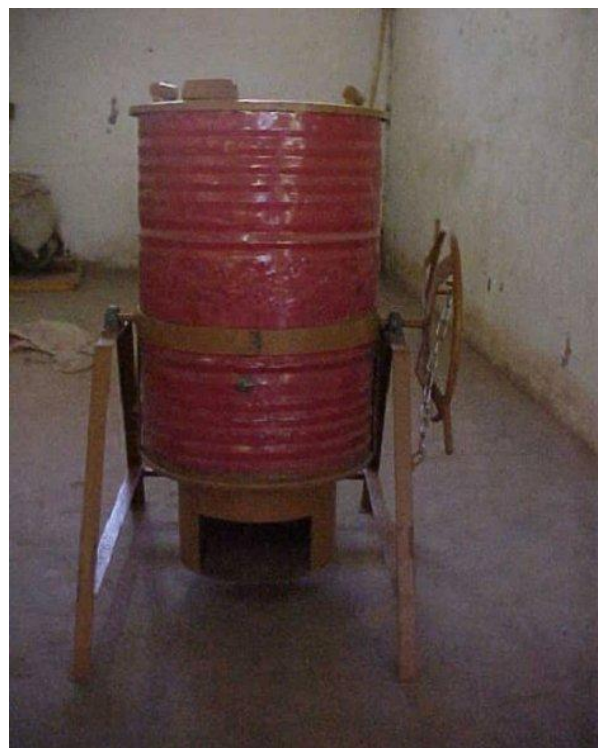


Schéma de l'étuveuse Cirad/Irag/Pasal



Principe de fonctionnement



Photos IER

L'étuveuse acquise par l'IER (fabriquée au Burkina par Apipac)